

# Seismic Windowing Index and Its Prediction Efficiency Test of Ningxia

Xiaochuan Bai, Guofu Luo\*

Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan Ningxia  
Email: [luoguofu\\_05@163.com](mailto:luoguofu_05@163.com)

Received: Dec. 4<sup>th</sup>, 2019; accepted: Dec. 17<sup>th</sup>, 2019; published: Dec. 24<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In this paper, the traditional seismological image method is used to systematically study the windowing index, anomaly characteristics, prediction efficiency test and the corresponding relationship between the Windows and the earthquakes above the medium-strong in Ningxia. It is suggested that Tongxin seismic window has a good application effect in practical prediction in daily consultation and tracking abnormal work. Yinchuan seismic window effect is general, tracking analysis; Guyuan seismic window effect is poor, only for reference.

## Keywords

Seismic Window, Open the Window Index, Medium-Strong Earthquakes, Prediction Performance Test

---

# 宁夏地震窗开窗指标及其预测效能检验

白晓川, 罗国富\*

宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川  
Email: [luoguofu\\_05@163.com](mailto:luoguofu_05@163.com)

收稿日期: 2019年12月4日; 录用日期: 2019年12月17日; 发布日期: 2019年12月24日

---

## 摘要

本文应用传统地震学图像方法系统地研究了宁夏3个地震窗口, 银川窗、同心窗和固原窗的开窗指标、异常特征、预测效能检验及其地震窗与中强以上地震对应关系。建议在日常会商跟踪异常工作中, 同心地震窗在实际预测中应用效果较好, 应重点考虑; 银川地震窗效果一般, 需跟踪分析; 固原地震窗效果差, 仅作参考。

\*通讯作者。

## 关键词

地震窗, 开窗指标, 中强地震, 预测效能检验

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

国外最早提出地震窗涵义的是 Kanamori [1]对日本海域周围 8 级以上地震前特定区域内中小地震频次明显增强, 反应出区域构造应力升高, 并用一定的物理模型来解释地震窗口应力增强与周边 8 级地震对应关系。中国对地震窗的定义首次由王泽皋等提出[2], 在研究邢台地震的余震频度衰减中, 指出某些能以微震活动形式灵敏反映区域应力场变化的特殊构造部位, 可分为震群窗和余震窗。后来慢慢把日常出现的小震活动监视区域应力场和震源应力场变化的地震窗通常称为震群窗; 以余震起伏作为区域应力场和震源应力场变化效应的地震窗称为余震窗, 震群窗和余震窗统称为地震窗。此后, 许多学者围绕地震窗开展研究, 啜永清[3]研究山西大同阳高地震的余震窗口特征及机理, 给出余震窗的设立, 对于监视震源区应力场的变化有重要意义。李莹甄[4]研究新疆伽师强震群活动期间地震窗异常特征研究; 薛丁[5]对海城地震窗口的地震活动异常提取预报效能指标, 给出邢台地震窗与华北 6 级以上地震的关系。洪德全[6]利用数字地震学方法研究霍山地震窗口内小震的震源机制解和区域构造应力关系。陈万正[7]和易桂喜[8]分别研究长宁地震窗与四川及邻区 5.5 级以上地震的对应关系。白晓川[9]研究宁夏同心地震窗的开窗指标以及与其强以上地震的关系。本文系统研究宁夏境内有的银川地震窗、同心地震窗和固原地震窗的异常特征, 并分析地震窗的开窗指标与中强以上地震的对应关系, 预测效能做了系统的检验, 为后人地震预测积累宝贵的资料。

## 2. 宁夏及邻区地震窗的构造背景

宁夏位于青藏块体、阿拉善块体、鄂尔多斯块体和大华北块体的交汇部位, 是多支 I 级板块和 II 级板块交汇的结合部。以牛首山断裂为北传统上称为宁夏北部, 主要受河套地震带控制, 内部发育有 4 条近似相对平行的 NS 断裂带, 西边贺兰山东麓断裂、中间银川 - 平罗断裂和芦花台断裂和东边黄河灵武断裂, 这些断裂地处银川拉张盆地, 银川地震窗位于该盆地内(图 1)。牛首山断裂以南传统上称为宁夏南部, 主要受青藏高原东北缘向东北的挤压, 主要有同心地震窗和固原地震窗(图 1), 这两窗口主要与南北地震带北段以及龙门山地震带构造上有着较好的关联性。宁夏南部主要发育有 4 条近似相对平行的 NW 断裂带, 西边有海原活动断裂带、东边有牛首山 - 罗山东麓断裂, 中间有香山 - 天景山活动断裂和烟筒山隐伏断裂。同时, 在断裂带内形成了一系列拉分盆地及断陷盆地, 如中宁 - 中卫断陷盆地、海原拉分盆地、清水河断陷盆地、红寺堡断陷盆地。盆地深部的断裂相互交汇形成特殊的构造区域, 反应区域构造应力的集中, 表现出同心地震窗和固原地震窗中等地震活动与宁夏及其周边发生中强以上地震的关系特征。

## 3. 地震窗的开窗指标与异常特征

### 3.1. 银川地震窗

根据以往研究银川地震窗(38.1°~38.7°N, 106.1°~106.5°E)窗口内发生  $M_L 4.0$  以上地震, 标志着银川地

震窗开窗, 预测未来 1~3 年鄂尔多斯西北缘有 6 级左右地震发生的可能, 然而 6 级地震发生后, 短时间内银川地震窗内也可能还会出现  $M_L4.0$  以上地震, 该地震往往称为调整地震而不是开窗地震。1970 年以来在银川地震窗有 4 组  $M_L4.0$  以上地震开窗(图 2(a)图中实线框)对应鄂尔多斯块体西北缘(图 2(a)图中虚线框) 4 次 6.0 级左右地震。另外银川地震窗的  $M_L4.0$  以上地震不仅具有成组填空的特征, 并且只与地质构造相同的河套地震带的 6 级左右地震关系密切(图 2(b), 表 1)。第一组为 1970 年和 1973 年银川地震窗分别发生  $M_L4.0$  级、 $M_L4.2$  级地震, 表明银川地震窗已经开窗, 2 年 10 月后对应了 1976 年内蒙古巴音木仁 6.2 级地震。第二组为 1978 年银川地震窗发生  $M_L4.3$  级地震, 表明该窗口已经开窗, 1 年 3 个月后对应了 1979 年内蒙古五原 6.0 级地震, 五原 6.0 级地震后 3 月, 又在银川窗发生  $M_L4.6$  级地震, 该地震为调整地震。第三组为 1994 年银川地震窗发生  $M_L4.0$  级地震, 表明该窗口已开窗, 2 年 2 个月后对应了 1976 年内蒙古包头 6.4 级地震, 包头 6.4 级地震后, 又在银川窗发生  $M_L4.6$  级、 $M_L4.0$  级 2 次地震, 该 2 次地震都为调整地震。2010 年和 2012 年在银川地震窗分别发生  $M_L4.8$  和  $M_L5.0$  地震, 2015 年 2 月 5 日又银川窗发生  $M_L4.0$  地震, 以上 3 次地震都为银川地震窗开窗地震, 之后对应了对 2015 年 4 月 15 日内蒙古阿拉善左旗 5.8 级地震。

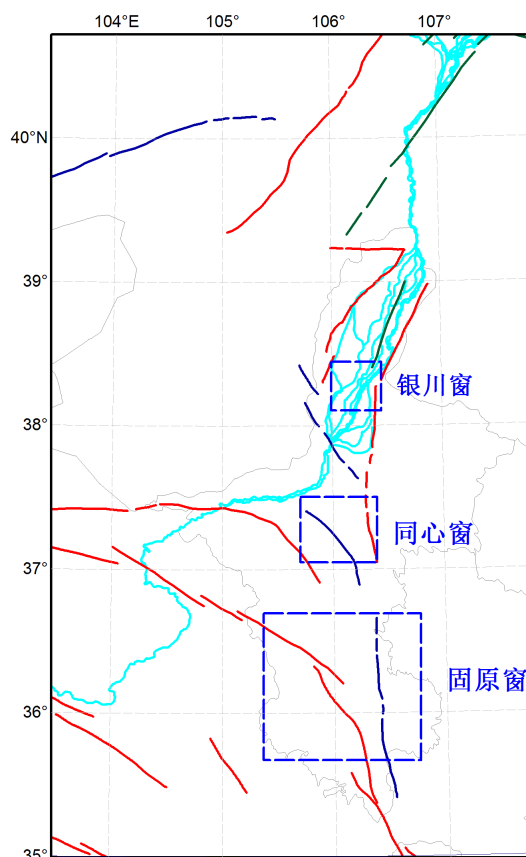


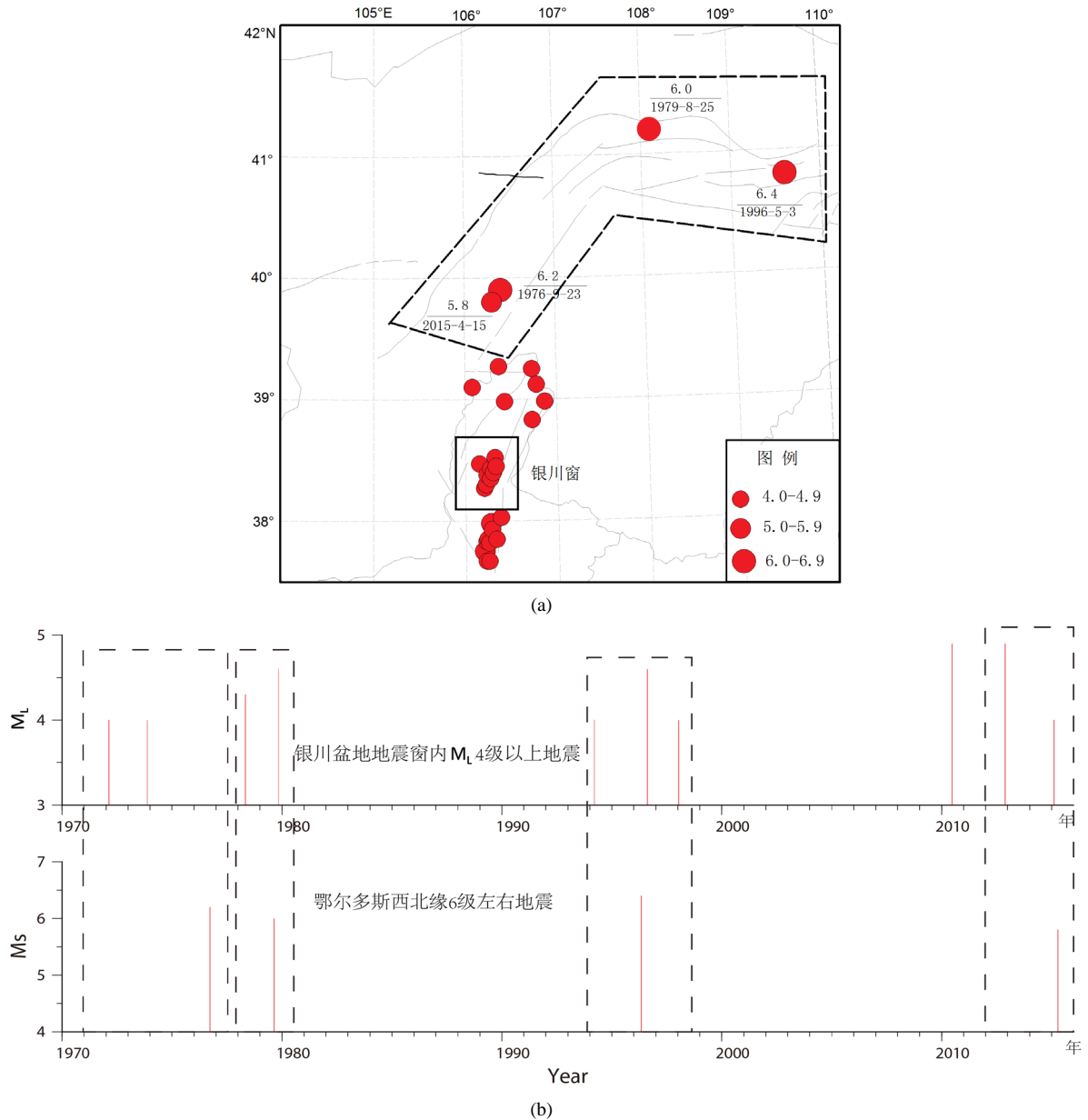
Figure 1. Tree seismic windows in Ningxia

图 1. 宁夏境内 3 个地震窗分布图

### 3.2. 同心地震窗

根据以往研究[9]表明, 宁夏同心窗(37.00°~37.51°N, 105.74°~106.42°E)口内发生显著的  $M_L3.4$ ~4.6 地震(不包括震群、余震)为开窗指标(图 3), 一般映震时间为 1.5 年内, 对应宁夏及邻区中强以上地震范围

(35.5°~40.5°N, 103.5°~107.7°E)。自 1970 年以来宁夏同心窗内共发生 10 组  $M_L$ 3.4~4.6 地震, 其中 4 组地震后 1 年内在宁夏南部发生了中强地震, 另有 4 组地震后 1 年左右在宁夏区外发生中强以上地震乃至大震, 这 8 组地震被称为同心窗“信号震”, 还有 2 组没有对应地震(表 2)。



**Figure 2.** The corresponding relationship between Yinchuan seismic window and the earthquake of magnitude 6 or above in the northwest margin of Erdos

**图 2.** 银川地震窗与鄂尔多斯西北缘 6 级以上地震对应关系

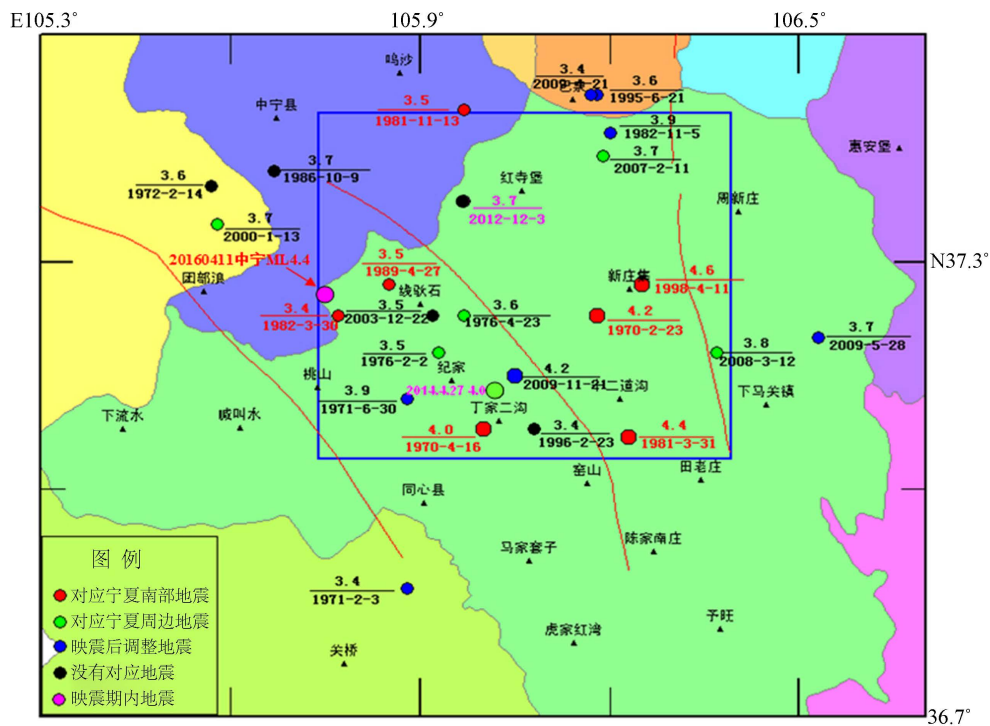
表 2 表明 1976 年 9 月 23 日内蒙古巴音木仁 6.2 前 5 个月, 在宁夏同心窗发生显著的  $M_L$ 3.5、3.6 级地震; 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震前 2 月, 在宁夏同心窗发生显著的  $M_L$ 3.8 级地震; 2015 年 4 月 15 日内蒙古阿拉善左旗 5.8 级地震前近 1 年时间, 在宁夏同心窗发生了 2014 年 4 月 27 日同心  $M_L$ 4.0 级地震。另外, 同心窗内显著地震与宁夏南部的 5 级以上地震对应关系较好。如 1970 年 12 月 3 日宁夏

西吉 5.5 级地震前 8 月, 在同心窗发生显著的  $M_L$ 4.0 级地震; 1982 年 4 月 14 日宁夏海原 5.5 级地震前 15 天, 在同心窗发生显著的  $M_L$ 3.4 级地震; 1989 年 4 月 27 日宁夏固原 5.0 级地震前 6 个月, 在同心窗发生显著的  $M_L$ 3.5 级地震; 1998 年 4 月 11 日宁夏海原 4.9 级地震前 3 个月, 在同心窗发生显著的  $M_L$ 4.6 级地震。

**Table 1.** Earthquakes of  $M_L$ 4.0 and above in Yinchuan seismic window corresponds to the earthquakes above 6 in the northwest margin of Ordos Basin

**表 1.** 银川地震窗  $M_L$ 4.0 级以上地震与鄂尔多斯西北缘 6 级以上地震对应关系

组号	银川盆地 $M_L$ 4 以上地震	鄂尔多斯块体西北缘 6 级左右地震	时间间隔(年、月)	对应
1	1970.01.16 贺兰 $M_L$ 4.0	1976.9.23 内蒙古巴音木仁 6.2 级	6 年 8 月	之前
	1973.11.18 银川 $M_L$ 4.2		2 年 10 月	
2	1978.05.04 永宁 $M_L$ 4.3	1979.8.25 内蒙古五原 6.0 级	1 年 3 月	之前
	1979.11.06 永宁 $M_L$ 4.6		0 年 3 月	之后
	1994.03.16 永宁 $M_L$ 4.0		2 年 2 月	之前
3	1996.08.12 银川 $M_L$ 4.6	1996.5.3 内蒙古包头 6.4 级	0 年 3 月	之后
	1998.11.5 银川 $M_L$ 4.0		2 年 6 月	
	2010.06.22 永宁 $M_L$ 4.8		4 年 10 月	
4	2012.11.20 永宁 $M_L$ 5.0	2015.4.15 内蒙古阿拉善左旗 5.8 级	2 年 5 月	之前
	2015.02.05 永宁 $M_L$ 4.0		0 年 2 月	



**Figure 3.** Tongxin seismic window  $M_L$ 3.4 earthquake distribution since 1970

**图 3.** 1970 年同心地震窗  $M_L$ 3.4 级以上地震分布图

**Table 2.** Tongxin window seismic from  $M_L$ 3.4 to 4.6 and corresponding medium-strong earthquakes statistics  
**表 2.** 同心窗  $M_L$ 3.4~4.6 级地震与对应中强以上地震统计表

分组	同心窗 $M_L$ 3.4~4.6 级地震	对应中强地震	时间间隔
1	1970.2.23, $M_L$ 4.2, 新庄集 1970.4.16, $M_L$ 4.0, 丁家二沟	1970.12.3 西吉 5.5 级	276 天 231 天
2	1976.2.2, $M_L$ 3.5, 下周家河 1976.4.23, $M_L$ 3.6, 线驮石	1976.9.23 巴音木仁 6.2 级	234 天 153 天
3	1981.3.31, $M_L$ 4.4, 十二道沟 1981.11.13, $M_L$ 3.5, 鸣沙 1982.3.30, $M_L$ 3.4, 马家二沟	1982.4.14 海原 5.5 级	379 天 152 天 15 天
4	1989.4.27, $M_L$ 3.5, 线驮石	1989.11.2 固原 5.0 级	189 天
5	1996.6.23, $M_L$ 3.4, 马家二沟	无	无
6	1998.4.11, $M_L$ 4.6, 新庄集	1998.7.29 海原 4.9 级	109 天
7	2003.12.22, $M_L$ 3.5, 线驮石	无	无
8	2007.2.11, $M_L$ 3.7, 谭庄 2008.3.12, $M_L$ 3.8, 丁家二沟	2008.5.12 汶川 8.0 级	455 天 61 天
9	2012.12.3, $M_L$ 3.7, 同心红寺堡 2014.4.27, $M_L$ 4.0, 丁家二沟	2015.4.15 阿拉善左旗 5.8 级	353 天
10	2016.04.11, $M_L$ 4.4, 中宁	2017.6.3 阿左旗左旗 5.0 级	418

通过统计宁夏同心窗开窗与对应的中强以上地震,可知同心窗口内发生  $M_L$ 3.4~4.6 地震为开窗地震,开窗后,窗口内还可能陆续发生开窗地震,表明同心窗异常可信度越可靠,宁夏及邻区发生中强以上地震的危险性加剧,时间越逼近中强以上地震。但一般首个开窗地震后短时间内(3 月)无对应中强以上地震的震例,信度 100%,也有超过 1 年震例,如 2016 年 4 月 11 日同心窗内发生显著的  $M_L$ 4.4 级开窗地震,开窗 418 天后(约 1 年 2 个月),对应了 2017 年 6 月 3 日内蒙古阿拉善左旗 5.0 级地震。因此开窗后,优势时间 3 个月至 1 年。

### 3.3. 固原地震窗

根据以往研究,固原窗(35.7°~36.7°N、105.5°~106.5°E, 图 4, 表 3)  $M_L$ 3.0 级以上地震活动与宁夏南部中强以上地震存在较好的对应关系。1970 年以来宁夏南部及邻区共发生过 5 次  $M_s$ 4.9 以上地震,即 1970 年西吉 5.5 级、1982 年海原 5.5 级、1989 年固原 5.0 级、1998 年海原 4.9 级地震和 2017 年内蒙古阿拉善左旗 5.0 级地震,这 5 次地震前固原窗内  $M_L$ 3.0 级以上地震年频次均出现高值、降至均值以下、超过 1 年以上低值现象,并在低值或恢复升高的过程发生中强地震。

固原窗内  $M_L$ 3.0 级以上地震年频次从高值降至均值以下,且在低值超过 1 年以上,在低值恢复升高的过程,简称出现“U”字型异常是开窗指标,相反出现 1 年以下低值异常,或者持续低值多年都构不成开窗指标。例如 1970 年西吉 5.5 级地震前 3 年出现低值异常,为开窗指标,1970 年初出现增强,年底对应了西吉 5.5 级地震。1982 年海原 5.5 级地震前 2 年出现低值异常为开窗指标,后地震有所增强发生海原 5.5 级地震。1989 年固原 5.0 级地震前 2-3 年低值异常为开窗;1998 年海原 4.9 级地震前 2~3 年也出现低值异常开窗;2017 年内蒙古阿拉善左旗 5.0 级地震前 3~5 出现低值异常开窗,2015 年后固原窗内出现  $M_L$ 3.0 以上地震活动增强,一直持续到 2017 年阿拉善左旗 5.0 级地震前。

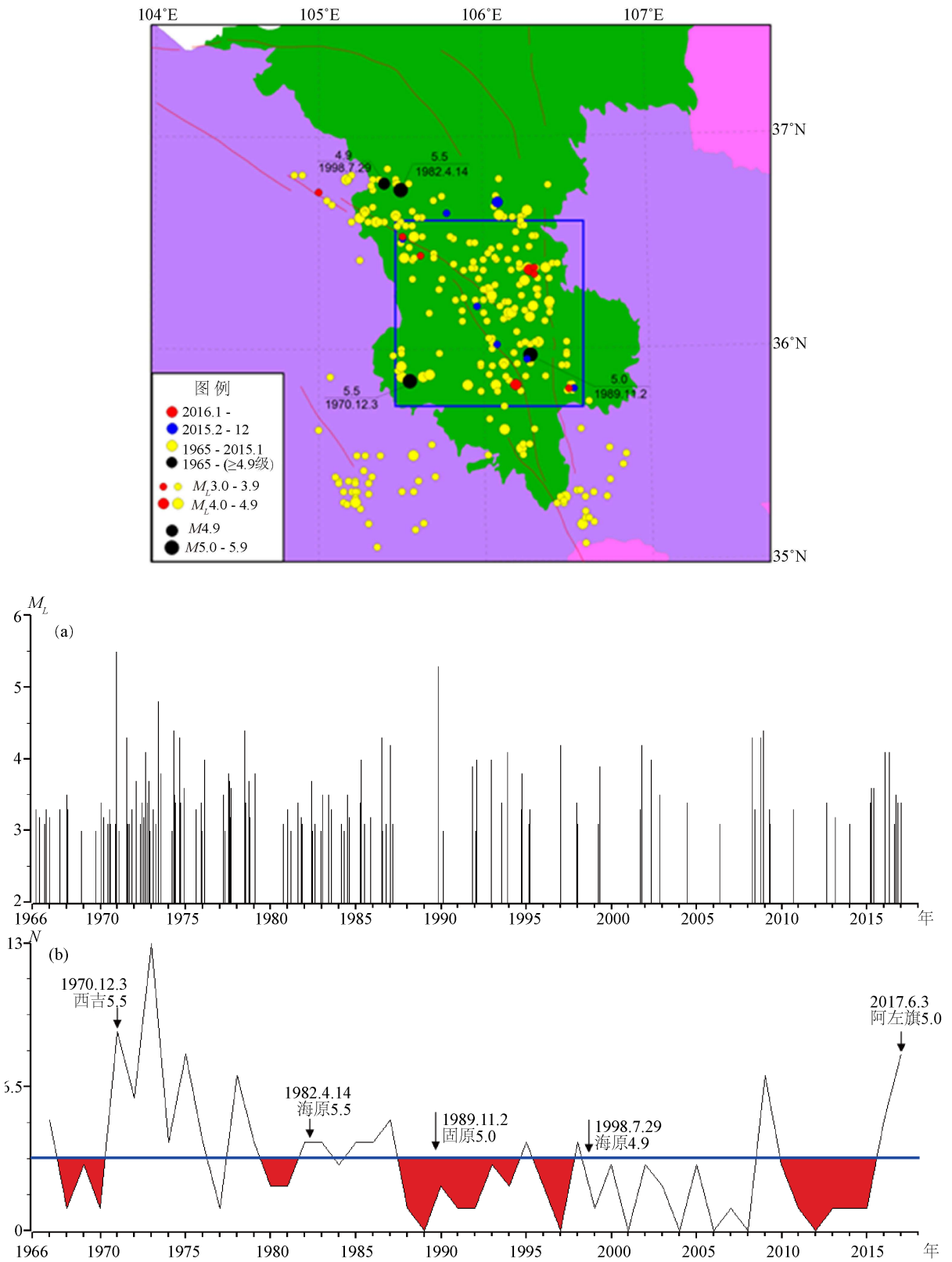


Figure 4. Seismic distribution and annual frequency curve of above  $M_L 3.0$  in Guyuan seismic window

图 4. 固原地震窗  $M_L 3.0$  以上地震分布和年频次曲线

**Table 3.** The relationship between  $M_L3.0$  seismic windowing and moderate-strong earthquakes  
**表 3.** 固原窗  $M_L3.0$  以上地震开窗与中强地震对应关系

平静期号	平静时间段	平静时长	平静结束与主震时间间隔	活跃后地震频次	对应中强地震
1	1967.01~1969.12	36 个月	12 个月	9	1970.12.03 西吉 5.5 级
2	1978.11~1980.12	25 个月	16 个月	4	1982.04.14 海原 5.5 级
3	1987.01~1989.11	35 个月	平静未结束	继续平静	1989.11.02 固原 5.0 级
4	1995.01~1997.11	35 个月	8 个月	4	1998.07.29 海原 4.9 级
5	2009.10~2015.02	64 个月	19 个月	28	2017.06.03 阿左旗 5.0 级

#### 4. 预报效能检验

用传统地震学图像总结出来的预报指标, 需要计算该指标的预报效能, 才能有效地用来作为开窗指标, 一般使用地震预报效能  $R$  值评分方法检验一个参数有无预报意义, 本文也使用该方法来检验宁夏境内的三个地震窗的开窗指标。

地震预报效能  $R$  值:  $R = c - b$

其中  $c$  为有震报准率, 即  $c = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应预报的地震总次数}}$ ;  $b$  为空报率, 推广定义为预报占时率, 即  $b = \frac{\text{预报占用时间}}{\text{预报研究的总时间}}$ 。

##### 4.1. 银川地震窗

银川地震窗主要预测宁夏北部周围的鄂尔多斯西北缘 6 级左右地震, 预测时间为 1~3 年。1970 年以来, 银川窗合条件的地震共有 4 次, 其中在异常及预报有效期内发震的有 4 次, 因此有震报准率  $c = n/N = 4/4 = 100\%$ 。经统计 4 次开窗, 预报占用时间(异常持续时间与预报有效期时间之和)为  $1095 \times 4 = 4380$  天, 预报研究的总时间(1970~2018 年)  $365 \times 48 = 17520$  天, 因此  $b = 0.25$ 。

因此, 地震预报效能:  $R = c - b = 1 - 0.25 = 0.75$ , 通过查表可知, 97.5% 置信水平的  $R_0 = 0.343$ ,  $R > R_0$ 。因此宁夏银川窗传统地震学开窗指标对鄂尔多斯西北缘的 6 级左右地震有一定的预测意义。

##### 4.2. 同心地震窗

同心地震窗主要预测宁夏及邻区( $35.5^\circ \sim 40.5^\circ \text{N}$ ,  $103.5^\circ \sim 107.7^\circ \text{E}$ )的中强以上地震, 预测的时间为 3 月至 1.5 年。1970 年以来, 同心窗符合条件的地震共有 10 次, 其中在异常及预报有效期内发震的有 8 次, 因此有震报准率  $c = n/N = 8/10 = 80\%$ 。经统计 10 次开窗, 预报占用时间(异常持续时间与预报有效期时间之和)为  $547 \times 10 = 5470$  天, 预报研究的总时间(1970~2018 年)  $365 \times 48 = 17520$  天, 因此  $b = 0.31$ 。

因此, 地震预报效能:  $R = c - b = 0.8 - 0.31 = 0.49$ , 通过查表可知, 97.5% 置信水平的  $R_0 = 0.356$ ,  $R > R_0$ 。因此宁夏同心窗传统地震学开窗指标对宁夏及邻区的中强以上地震有一定的预测意义。

##### 4.3. 固原地震窗

固原地震窗主要预测宁夏南部及邻区 5 级左右地震, 预测时间为 1~3 年。1970 年以来, 固原窗合条件的地震共有 5 次, 其中在异常及预报有效期内发震的有 5 次, 因此有震报准率  $c = n/N = 5/5 = 100\%$ 。经统计 5 次开窗, 预报占用时间(异常持续时间与预报有效期时间之和)为  $1095 \times 5 = 5475$  天, 预报研究的总时间(1970~2018 年)  $365 \times 48 = 17520$  天, 因此  $b = 0.31$ 。



因此, 地震预报效能:  $R = c - b = 1 - 0.31 = 0.69$ , 通过查表可知, 97.5%置信水平的  $R_0 = 0.475$ ,  $R > R_0$ 。因此宁夏固原窗传统地震学开窗指标对宁夏南部及其周边的中强以上地震有一定的预测意义。

通过预报效能检验可知, 银川窗、同心窗和固原窗都可以通过预报效能检验, 因此, 应用传统的地震图像开窗指标, 可以分别有效地预测宁夏北部的鄂尔多斯西北缘 6 级左右地震、宁夏及邻区中强以上地震和宁夏南部及邻区的 5 级左右地震。从开窗指标的判别上来看, 银川窗和同心窗简单明了容易判别, 而固原窗判别时较难, 有时候掺杂了认为因素; 从指标的物理意义来看, 同心地震窗最明确; 从映震效果来看, 固原地震窗效果最差, 银川窗效果最好, 但银川窗有 6 级地震后, 震后调整地震, 很难把握是开窗地震还是调整地震。

## 5. 结论

本文应用传统的图像方法系统研究了宁夏境内银川地震窗、同心地震窗和固原地震窗的开窗指标, 效能检验及其与中强以上地震的关系, 得出如下结论:

(1) 从传统地震学图像方法上研究银川地震窗开窗指标, 自 1970 年以来银川窗范围为(38.1°~38.7°N, 106.1°~106.5°E), 开窗指标为该地震窗口内发生显著的  $M_L 4.0$  级以上地震, 对应时间为未来 1~3 年鄂尔多斯西北缘 6 级左右地震。

(2) 从传统地震学图像方法上研究同心窗开窗指标, 自 1970 年以来同心窗范围为(37.00°~37.51°N, 105.74°~106.42°E), 开窗标志为该地震窗口内发生显著的  $M_L 3.4\sim 4.6$  地震(不包括震群、余震)为开窗指标, 对应宁夏及邻区中强以上地震的优势映震时间为 3 个月至 1 年。

(3) 从传统地震学图像方法上研究固原地震窗开窗指标, 自 1970 年以来固原窗范围为(105.8°~106.5°E, 35.8°~36.5°N), 开窗指标为固原窗内  $M_L 3.0$  级以上地震年频次均出现高值、降至均值以下、超过 1 年以上低值现象, 并在低值或恢复升高开窗, 对应时间为未来 1~3 年宁夏南部及邻区 5 级左右地震。

(4) 宁夏银川地震窗、同心地震窗和固原地震窗传统的地震图像开窗指标都可以通过预报效能检验, 具有一定的预测意义。但这些年实践应用中发现, 从开窗指标、预报效能、物理含义映震时间和区域等综合因素考虑, 同心窗地震预测效果最好, 实际应用时需要重点分析; 银川地震窗预测效果一般, 实际应用时需要跟踪分析; 固原地震窗预测效果最差, 实际应用时仅作参考。

## 致 谢

感谢审稿专家和编辑部对本文提出宝贵的修改意见和建议。

## 基金项目

宁夏回族自治区科技厅自然科学基金项目(NZ17222)。

## 参考文献

- [1] Kanamori, H. (1972) Global Seismicity. In: Kanamori, H. and Boschi, E., Eds., *Earthquakes: Observation, Theory and Interpretation*, Elsevier North-Holland Inc., New York, 596-608.
- [2] 王泽皋. 关于“震情窗口”问题的实践和展望[J]. 地震学报, 1986(3): 254-262.
- [3] 啜永清. 大同一阳高地震的余震窗口特征及机理分析[J]. 山西地震, 1999(3): 25-29.
- [4] 李莹甄, 曲延. 伽师强震群活动期间地震窗异常特征研究[J]. 西北地震学报, 2000, 22(4): 368-406.
- [5] 薛丁, 张建业, 赵爱萍. 海城地震窗地震活动异常提取及其预报效能[J]. 地震学报, 2012, 34(4): 487-493.
- [6] 洪德全, 王行舟, 程鑫, 等. 徽霍山窗重复地震尾波 QC 值变化研究[J]. 地球物理学报, 2013, 56(10): 3416-3424.
- [7] 程万正. 前兆地震活动“窗口”或敏感部位的寻觅及有效性估计[J]. 地震研究, 1984, 7(6): 657-666.

- [8] 易桂喜, 龙峰, 张致伟, 等. 长宁窗地震与四川及邻区 M5.5 以上地震的对应关系[J]. 地震研究, 2013, 36(4): 427-432.
- [9] 白晓川, 罗国富, 罗恒之, 等. 宁夏同心地震窗开窗指标与中强以上地震关系[J]. 地球科学前沿, 2019, 9(8): 685-692.